

下水汚泥焼却灰等有害廃棄物の  
新規省エネリサイクル技術による商品・事業化開発  
(福岡県リサイクル総合研究センター共同研究プロジェクト)



平成19年7月24日

田川産業株式会社

ライミックス事業 統括リーダー 尾池 哲郎

しっくい

# 漆喰

漆喰は千数百年の間、日本の風土に合うよう培われてきた最高級の壁材です。

日本一の漆喰「城かべ」と、新素材「漆喰セラミックス」を紹介します。



# 漆喰

昭和 38 年、田川産業が日本で最初に既調合漆喰を世に出しました。以来、日本で最も使用されている漆喰が「城かべ」です。

漆喰は、消石灰、麻等の繊維、海藻等の糊材など天然材料で構成されています。田川産業は長年培われてきた配合を守りつつ、職人の手により高品質の漆喰を作り続けています。

# 日本一の漆喰

昭和 38 年  
発売開始



しろ

## 城かべ

漆喰は最高級の健康壁材です。呼吸して湿度を調節し室内をさわやかにします。



詳しくはウェブへ  
[www.shirokabe.co.jp](http://www.shirokabe.co.jp)

# 漆喰の原料

「消石灰」: 漆喰の主成分  
日本では、良質な石灰が  
豊富に産出する。

「糊材」: 昔ながらに海草糊  
を使用。適度な保水性と作  
業性を持つ。

「すさ」: わら・麻・紙など。  
乾燥後の塗材の収縮亀裂  
を防ぐ効果がある。



# 漆喰の機能性

「呼吸性＋吸着性」

優れた吸放湿性と吸着性  
結露防止、カビ・ダニ抑制  
悪臭を吸着し、無臭化

「安全性」

無機材料のみで構成

「不燃性」

古くは土蔵に使用された



# 漆喰セラミックス

**Limix**  
nonbaked lime ceramics  
不焼成しっくいセラミックライミックス



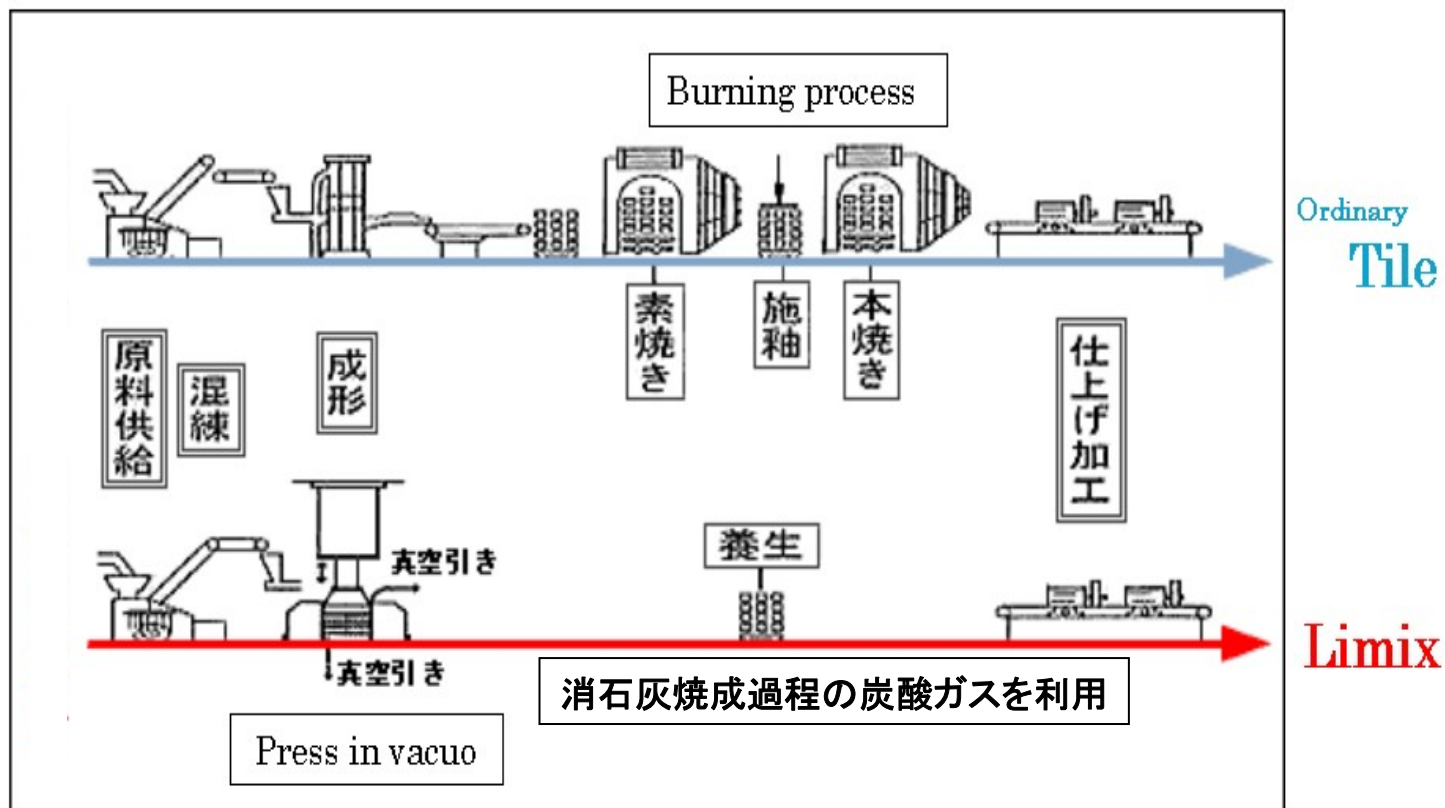
新技術で漆喰が生まれ変わりました。  
世界に誇る日本の新素材です。



詳しくはウェブへ  
[www.shirokabe.co.jp](http://www.shirokabe.co.jp)

# 製造工程

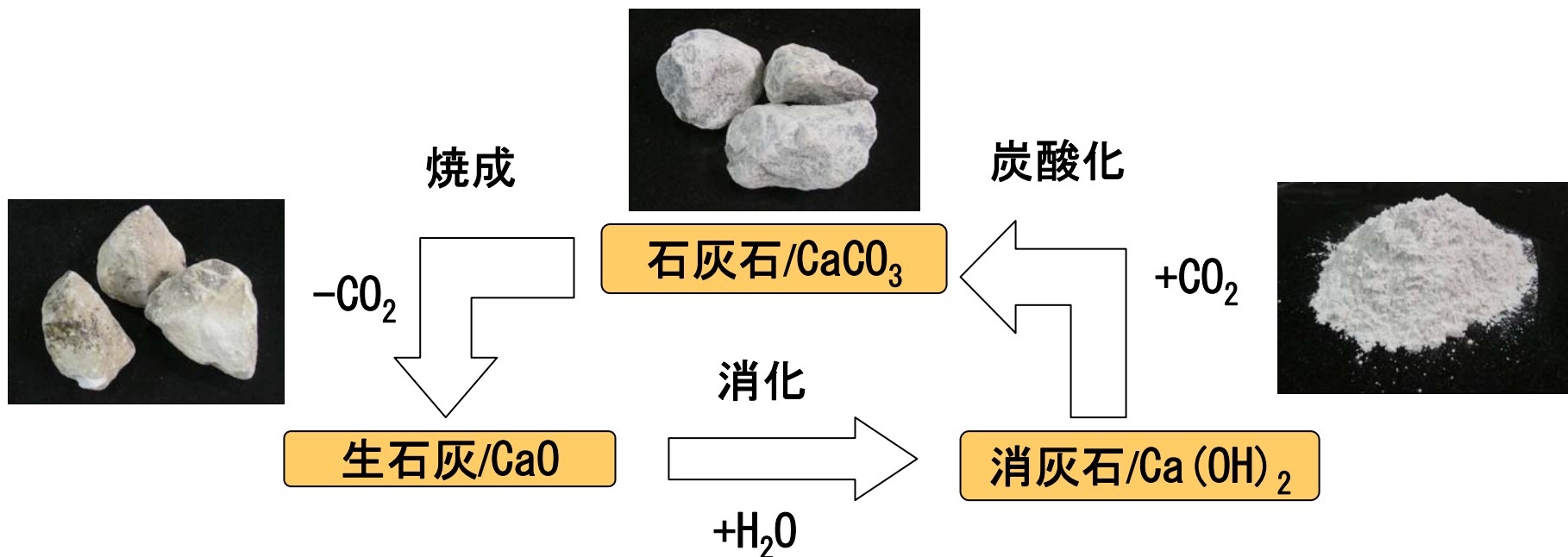
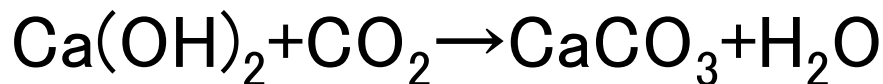
The Manufacturing process



超高加圧成型、強制炭酸化により、焼成の工程が省かれても焼成品に劣らない強度を持ったセラミックスを製造

# ライミックスの化学反応

- 漆喰セラミックスの強度は消石灰の炭酸ガスと反応する**気硬性**によって発現する。



- 建築では漆喰として使用。昔は土間に三和土としても使用。



# ライミックスの製品ラインナップと特徴一覧

製品	機能	配合	質感	規格	価格
ライミックス	-	石灰岩	最高級磨き漆喰	400角	壁9.800～ 床12.500～
調湿タイプ	調湿機能	珪藻土、ゼオライト	押さえ	200角	12.500～
ルミエ	調湿・光触媒機能	光触媒・ゼオライト	押さえ	200角	19.000～
ゲルマニウム配合	遠赤外線効果	ゲルマニウム・石灰岩	最高級磨き漆喰	400角	壁15.600～ 床18.000～
ライミックスプラス グレイッシュカラー	-	石炭灰	押さえ	壁200角・床401角	壁10.000～ 床12.400～
ライミックスプラス 和の風土色	調湿機能(壁用)	下水汚泥焼却灰	押さえ	壁200角・床402角	壁10.000～ 床12.400～

# ライミックス製品の物性

物性	ライミックス	ライミックスプラス グレイッシュカラー	ライミックスプラス 和の風土色	大理石	ライムストーン	ソイルセラミックス
				ビアンコカララ	モカクリーム	
曲げ強さ(N/cm) JIS A 5209	104(10mm)	59(壁用12mm)	50(壁用10mm)	122(10mm)	167(15mm)	42(壁用)
	415(20mm)	255(床用25mm)	170(床用20mm)	206(13mm)		224(床用)
曲げ強度(Mpa)	11~16	5.5~7	6.9~7.3(壁用)	12~16	9	5.8(壁用)
			5.8~8.0(床用)			7.6(床用)
比重	1.9~2.3	1.67	1.73	2.71	2.35	1.6(壁用)
						1.9(床用)
吸水率(%) JIS A 5209	0.34	1.00	17(壁用) 6~9	0.14	3.3	10
落砂摩耗(g) JIS A 5209	0.01	0.05	0.03	0.01	0.03	0.01
熱伝導率 (cal/sec·cm·°C)	$5.2 \times 10^{-3}$	$1.1 \times 10^{-3}$	-	$5.4 \times 10^{-3}$		$2.5 \times 10^{-3}$ (壁用)
						$3.3 \times 10^{-3}$ (床用)

# ライミックス製品共通注意事項

## 使用場所

水分の長期付着に弱く、屋内壁床に限る  
外部仕様別途開発中

## メンテナンス

天然大理石等と同等のメンテナンス必要  
石材保護材メーカー、(株)ミヤキ社との技術提携  
<http://www.miyaki.com/>

## 欠点

酸性洗剤による汚染、水分の長期付着による白華

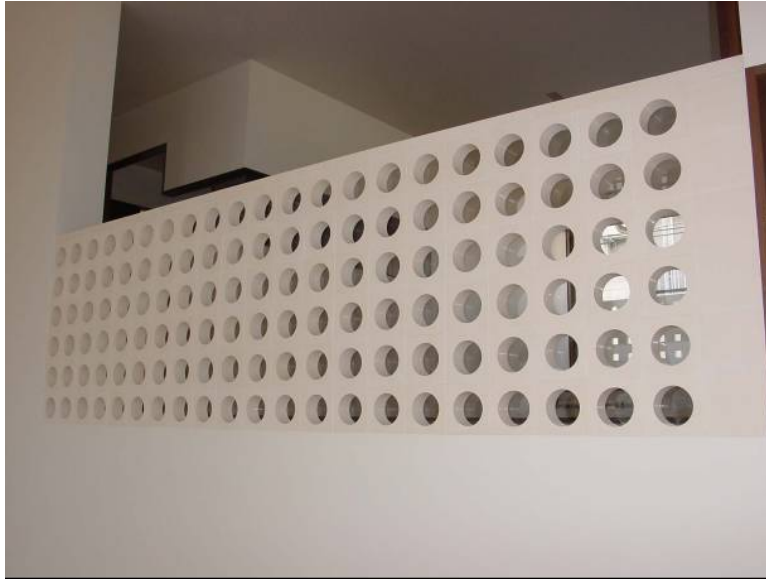
# ライミックスの特徴

漆喰でできた焼かないセラミックス  
漆喰の最高級仕上、磨き仕上げの質感  
さまざまな色、デザインが可能  
さまざまな粉体の混入が可能



愛・地球博

# ライミックス施工例



漆喰ブロック



個人住宅床

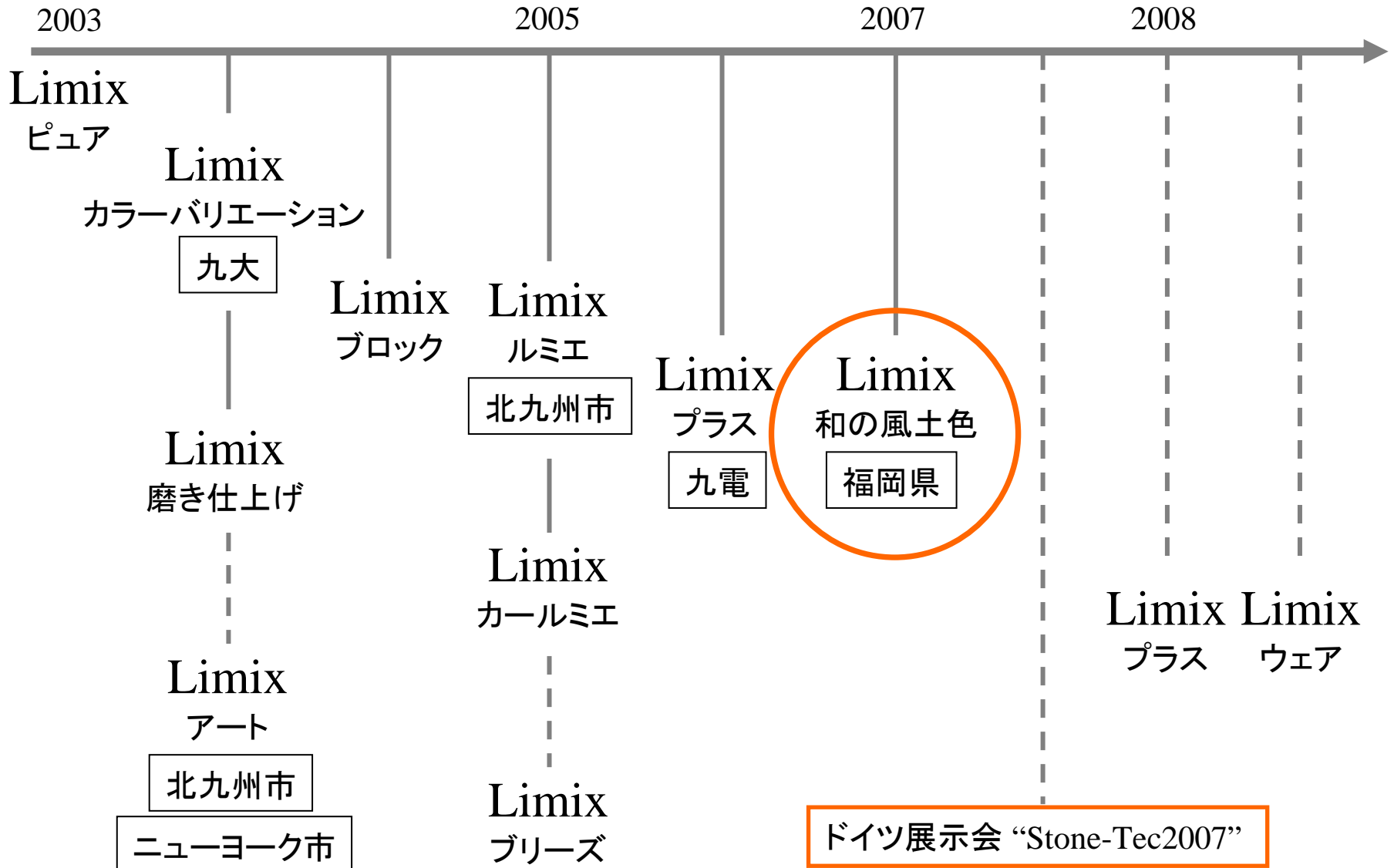


民間企業トイレ



百貨店

# 漆喰セラミックス「Limix」シリーズ



# ライミックスプラス・グレイッシュ ～石炭灰～

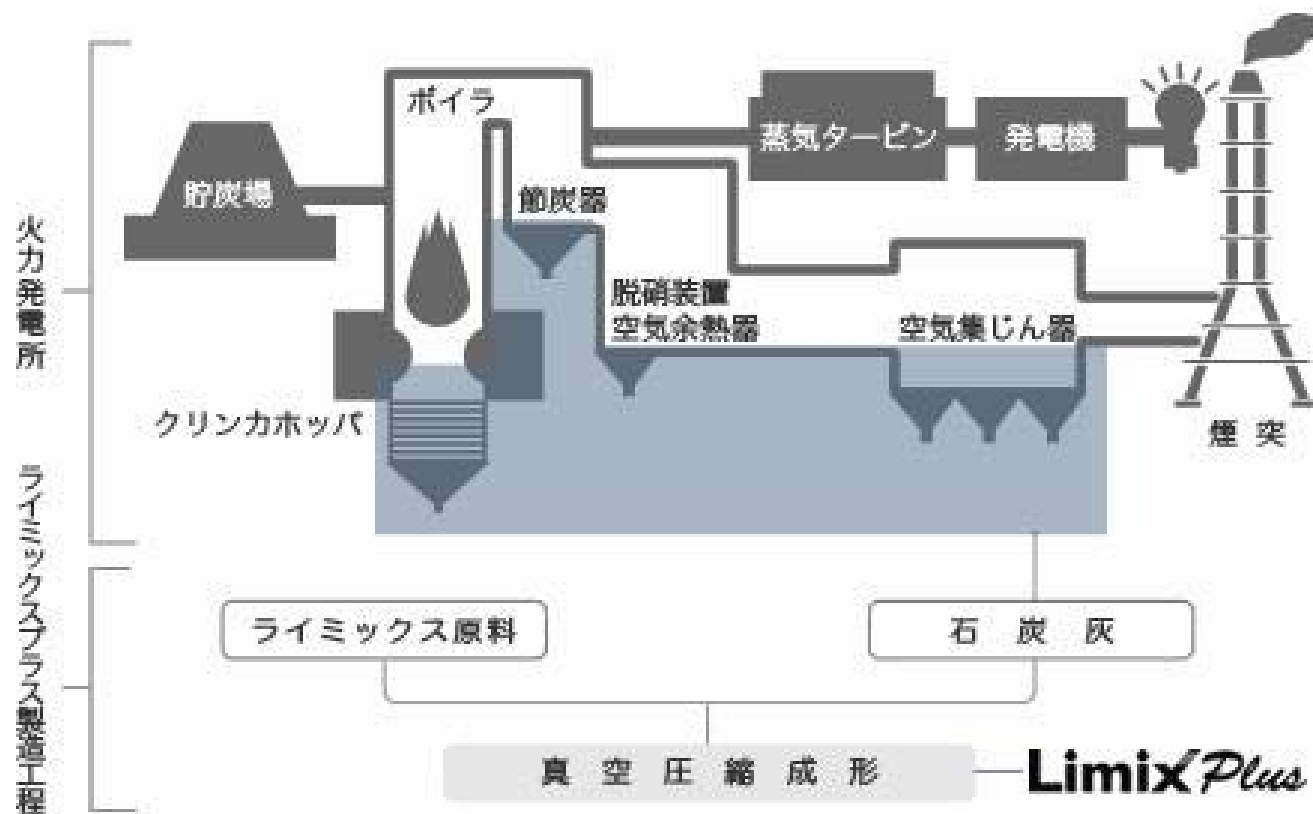


- 火力発電所から排出される石炭灰を60%以上配合したり  
サイクルセラミックス。30kg/m<sup>2</sup>の処理  
 ↳ コマーク取得、グッドデザイン賞受賞
- 漆喰の炭酸化作用によって、非焼成で強度(炭酸化硬化)  
と安全性(重金属固定化)を両立。
- 植物と動物の化石による自然素材



試作品	銅	鉛	六価クロム	砒素	全水銀	セレン
下水汚泥焼却灰60%配合	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
石炭灰60%配合	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
基準値(環境庁告示46)	0.01	0.01	0.05	0.01	0.0005	0.01

# Limix技術によるリサイクル製品



石炭灰、下水灰を混入したライミックスプラスの開発







# 下水汚泥焼却灰と、環境技術開発



排泄物を焼却した灰

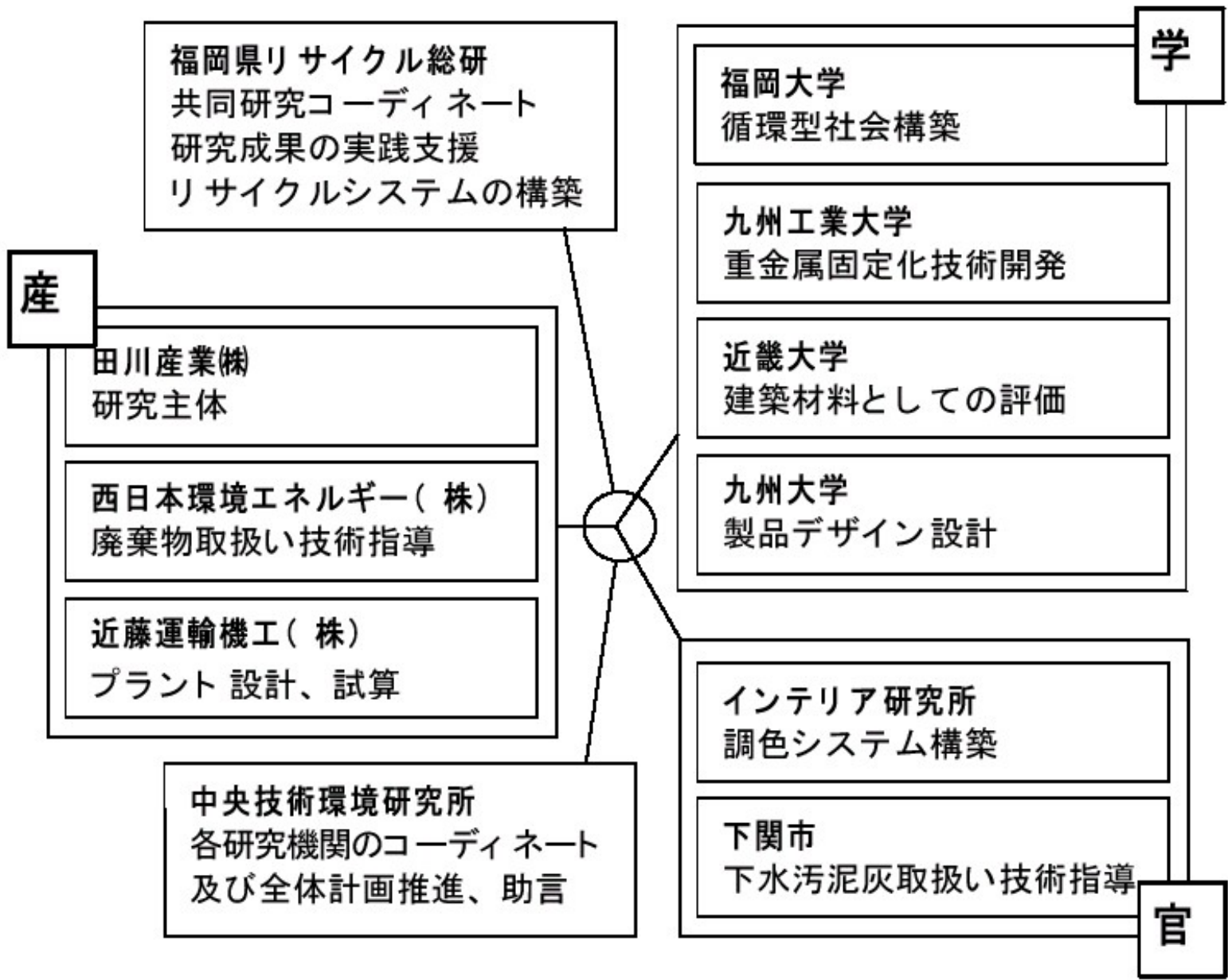
国内の捨て場所は残り少ない。

循環型社会形成推進基本法  
資源有効利用促進法、グリーン購入法  
北九州エコタウン  
福岡県リサイクル総合研究センター  
九州リサイクル産業交流プラザ  
北九州環境ビジネス協議会 …

消石灰と混ぜ無害化し、  
Limix技術で建材化



# 実施体制



## 研究課題

下水汚泥焼却灰の品質調査

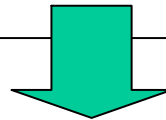
固定化技術開発

外部暴露試験 耐候性向上

茶系カラーバリエーション開発

調色システム開発

流通経路開発



売れるリサイクル商品を開発！

# 使用した下水汚泥焼却灰と成分データ

下水灰 E	福岡市東部下水処理場	高分子系下水汚泥	0507	
下水灰 F	福岡市東部下水処理場	高分子系下水汚泥	0511	
下水灰 E による配合粉体		 無着色	 アンケート用赤	 アンケート用黒

# 下水灰配合 初期試作品



# 使用した下水汚泥焼却灰と成分データ

重金属類成分分析結果(ppm)

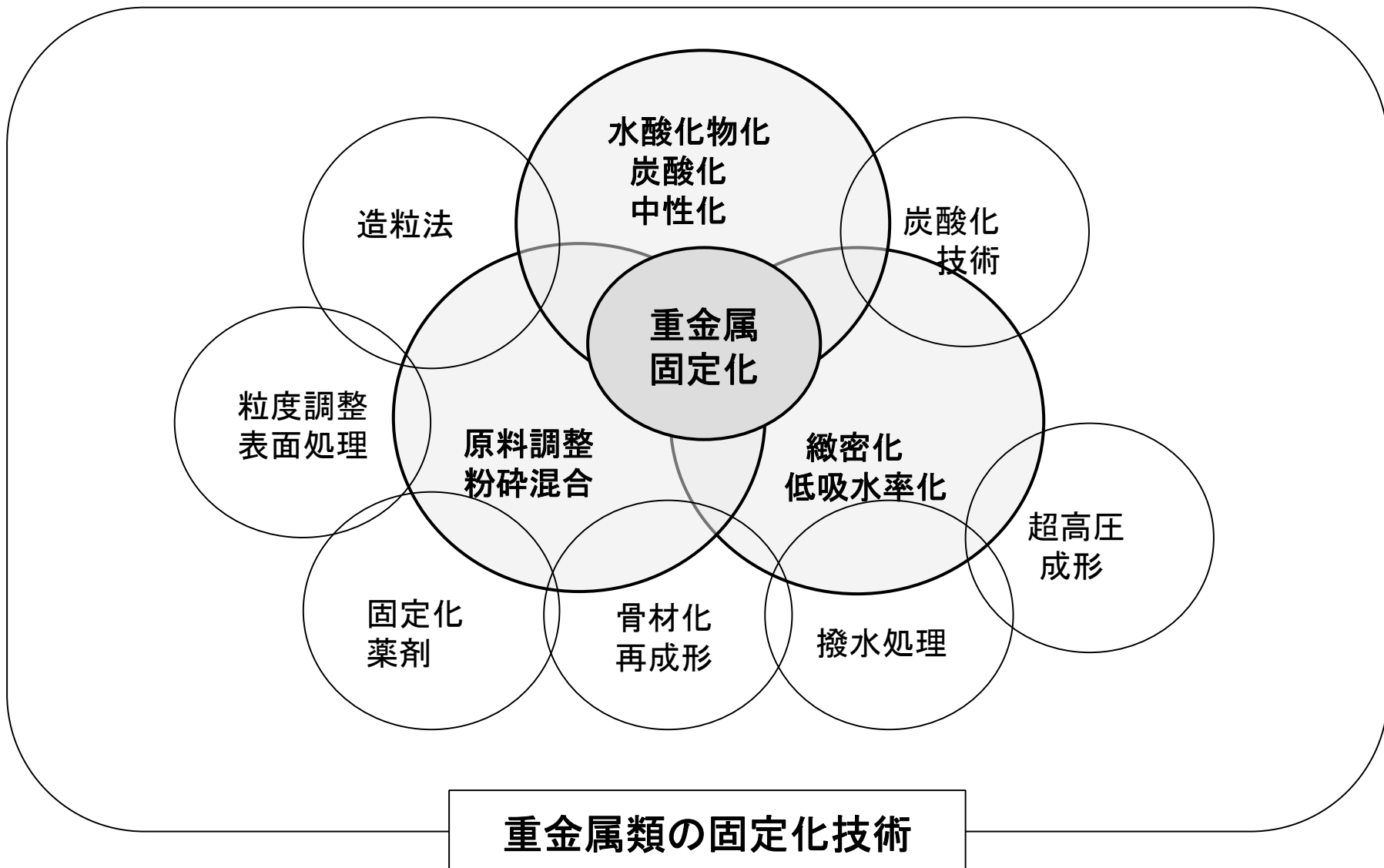
対象物質	カドミウム	鉛	六価クロム	砒素	水銀	セレン
下水灰 A	8.1	100	1.1	5.6	N.D.	N.D.
下水灰 B	7.3	130	N.D.	5.1	N.D.	N.D.
下水灰 C	5.1	70	N.D.	0.9	N.D.	N.D.
下水灰 D	2.7	43	N.D.	5.2	N.D.	0.4
下水灰 E	3.0	57			0.03	
下水灰 F	2.7	40			N.D.	
定量下限値	0.1	0.1	0.5	0.1	0.01	0.1

重金属類溶出試験結果(ppm)

対象物質	カドミウム	鉛	六価クロム	砒素	水銀	セレン
下水灰 A	N.D.	N.D.	0.06	N.D.	N.D.	N.D.
下水灰 B	N.D.	0.03	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
下水灰 C	—	—	—	—	—	—
下水灰 D	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
下水灰 E	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
下水灰 F	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
定量下限値	0.01	0.01	0.05	0.01	0.0005	0.01

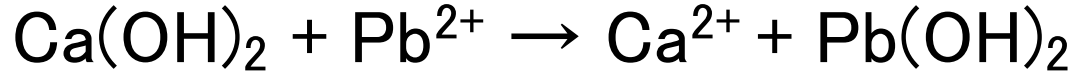


# 真空高圧成形技術による重金属類固定化

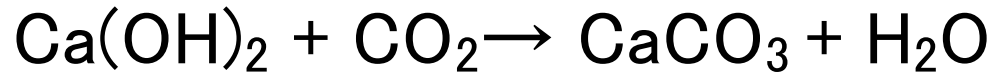


# 固定化技術

消石灰の重金属類固定化効果(水酸化物化)



消石灰の炭酸化反応(膨張反応→緻密化)



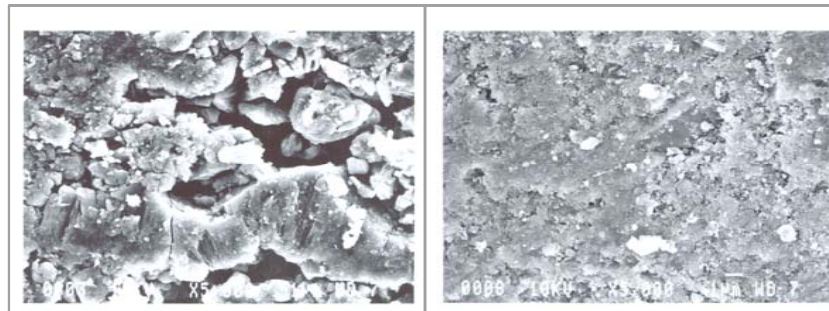
分子間炭酸化反応の促進(オレーション反応の促進)

炭酸化による両性金属(Pb,Zn)不溶化現象

(pH調整と、炭酸Caによる吸着作用)

成形体内部  
SEM写真(×5000)

炭酸化前



炭酸化後

# 物性に関する課題と対策

## 課題

1. 吸水変色:特に床面施工に対して
2. 白華
3. 凍害:特に外装使用に対して

## 対策

1. 配合条件:成形条件、粒度分布、副材料
2. 表・裏面処理
3. 施工条件

# 試作成形体の物理特性評価(近畿大学)

表-1 実験項目

	調合の割合(%)		添加水量 (%)	成形加圧力 (N/mm <sup>2</sup> )	積算材齢 (日)	養生温度 (°C)	養生湿度 (%)
	消石灰	副材料					
下水A種 下水B種	40	60	4	100	0・200 600・1000 1400・2800 4000	20	60
			2・4 6・8		2000		
	20・30 50・60	80・70 50・40	4	50・300		100	10・30
	40	60	4	100	20		
下水C種	40	60	2・4・6	100	0・600	20	60
			4	50・300	2000・2800		
	30・50	70・50	4	100			
下水E種	40	60	2・4・6	100	0・600	20	60
			4	50・200	2000・2800		
	30・50	70・50	4	100			

# 試作成形体の物理特性評価(近畿大学)

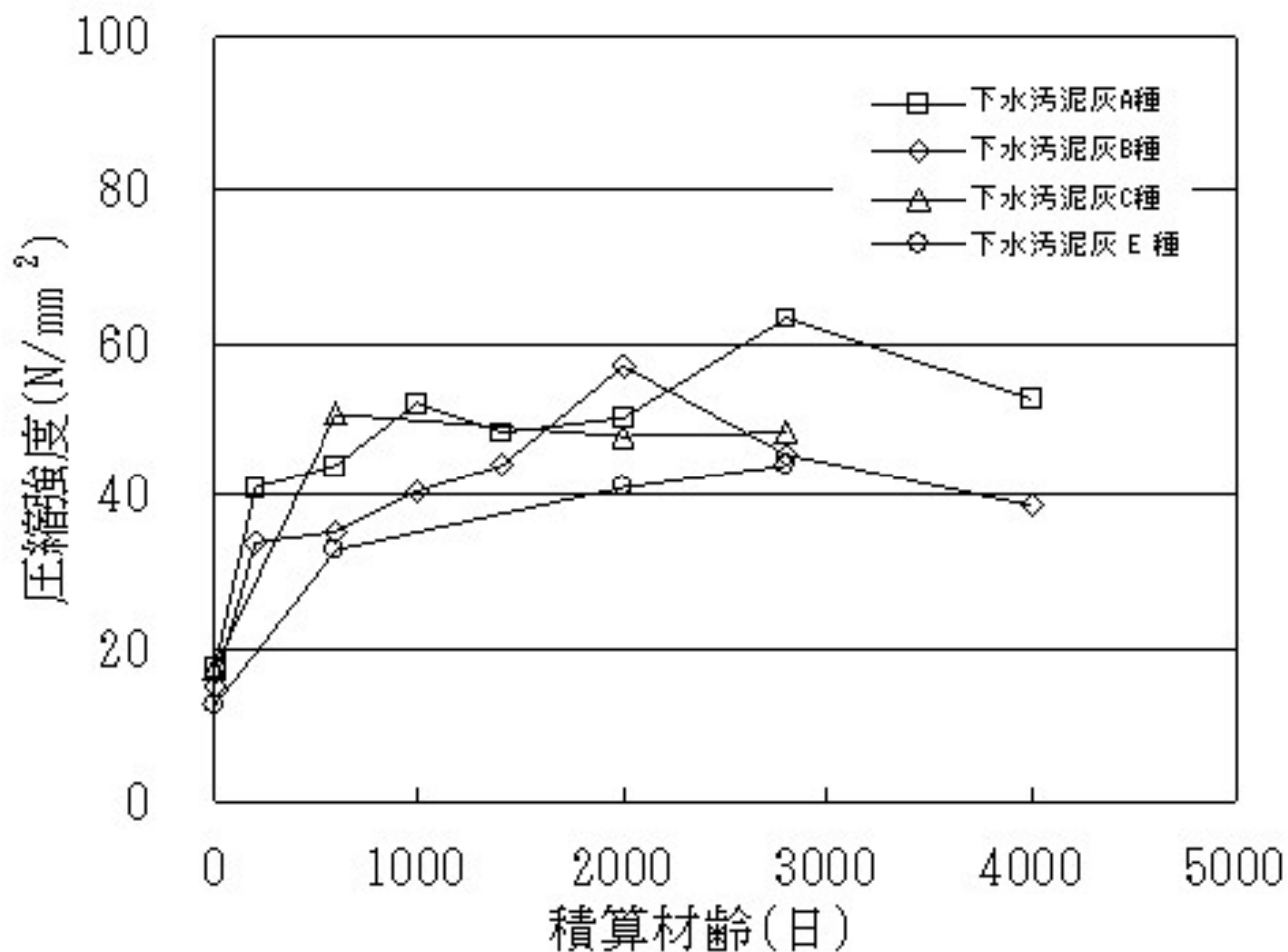
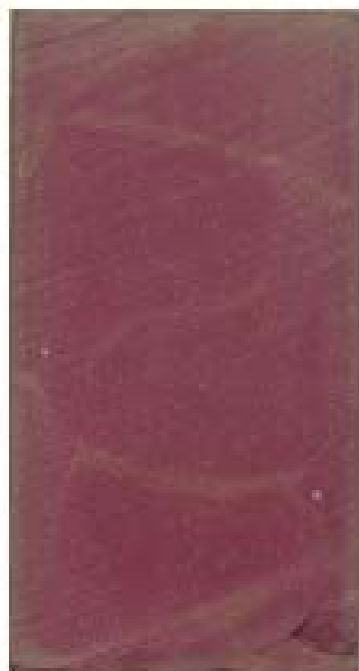


図-1 積算材齢の経過に伴う圧縮強度の変化

# 試作成形体の物理特性評価(近畿大学)



0d



1000d



2000d



2800d

写真-1 積算材齡の経過における炭酸化性状の推移

# 試作成形体の物理特性評価(近畿大学)

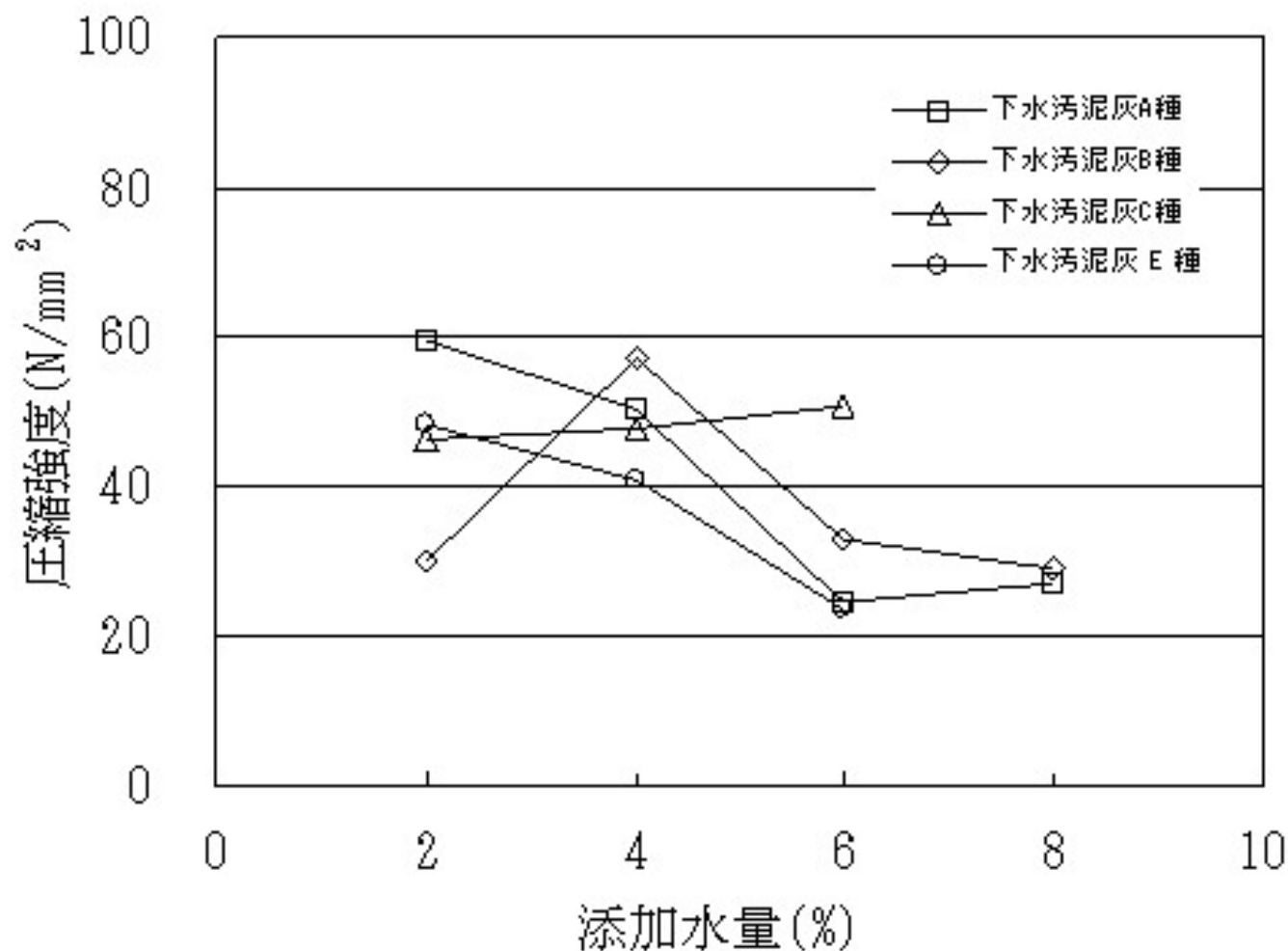


図-3 添加水量の影響における圧縮強度の変化

# 試作成形体の物理特性評価(近畿大学)

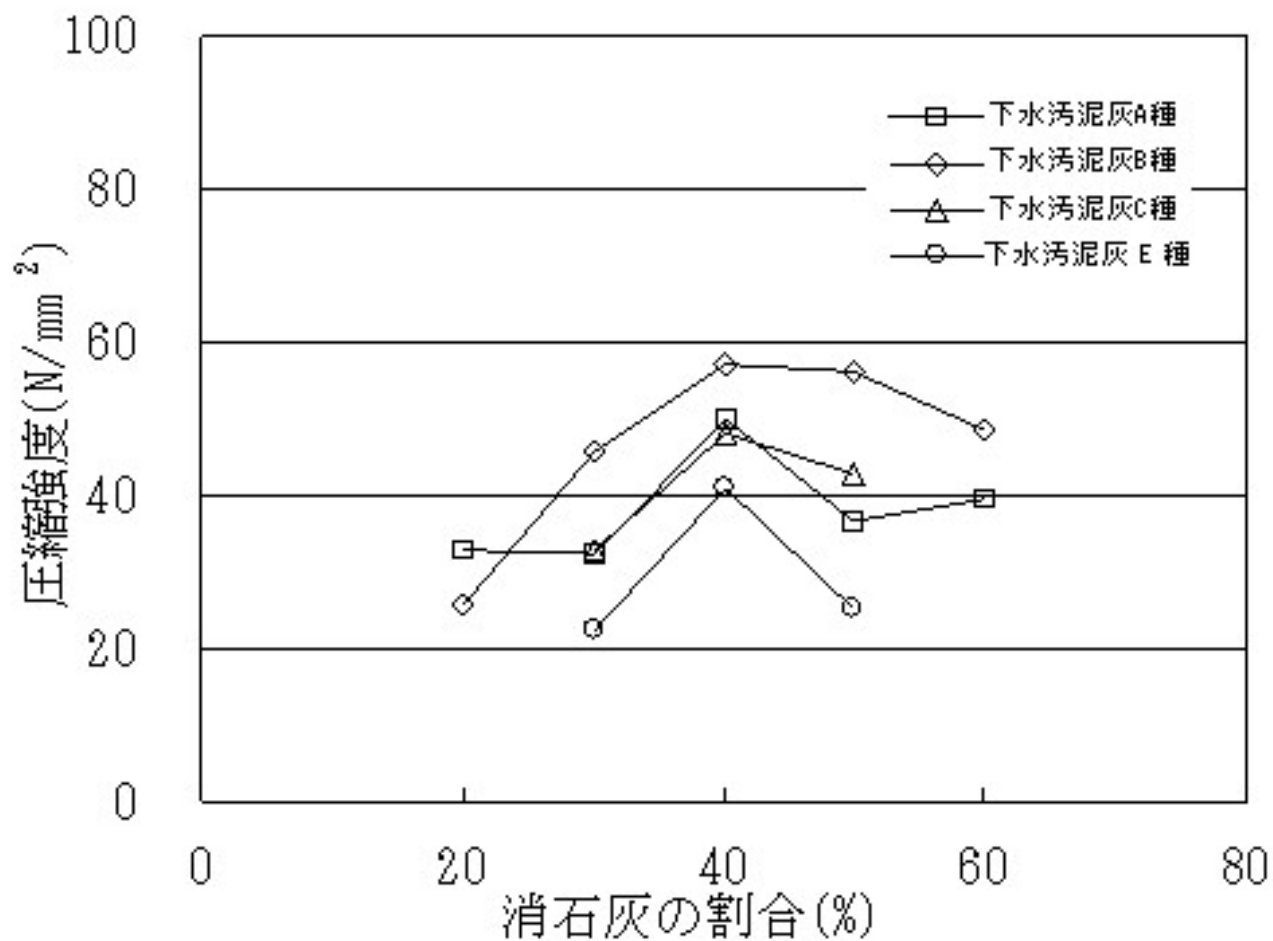


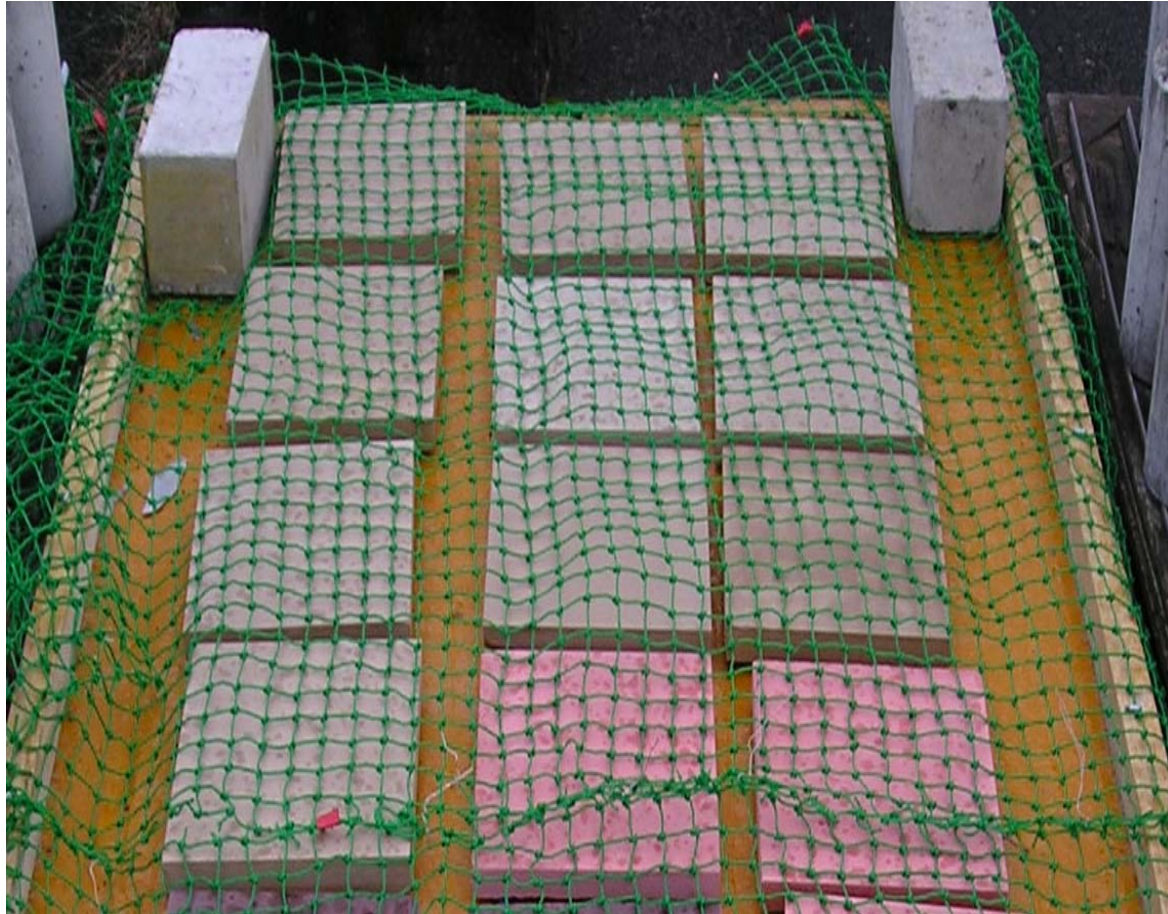
図-7 調合比の影響における圧縮強度の変化



# 長期耐久試験 (近畿大学、田川産業、琉球大学)



# 長期耐久性試験(北海道大学)



# 固定化方針の確定(九工大)

図1. 圧力の鉛溶出に及ぼす影響

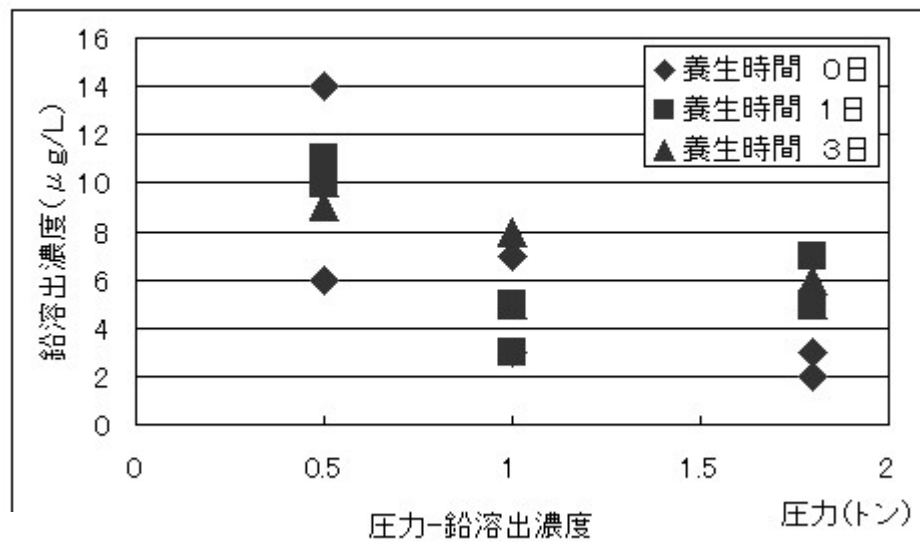
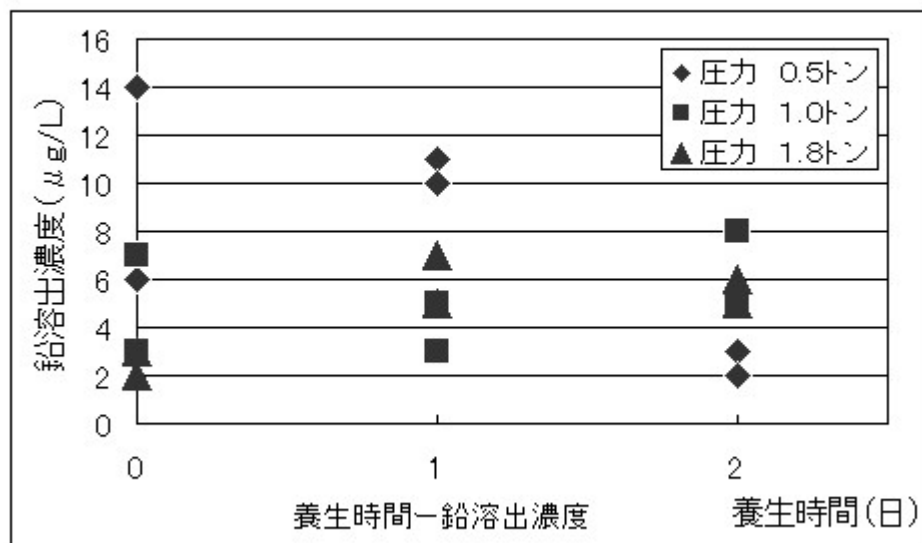


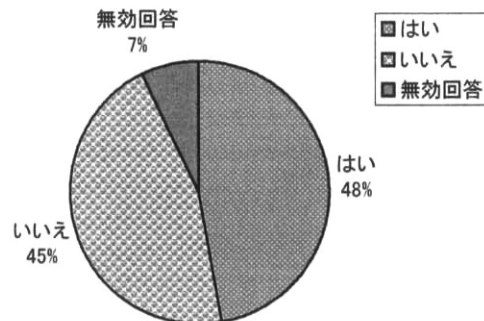
図2. 養生時間の鉛溶出に及ぼす影響



# 製品仕様に関するアンケート調査(九大)

6. 下水汚泥焼却灰を60%成分に含むと聞いて悪い・有害そうな印象を抱きますか？  
( はい いいえ )

はい	26
いいえ	25
無効回答	4
合計	55



7.6で「はい」と回答した方にお尋ねします。(複数回答可)

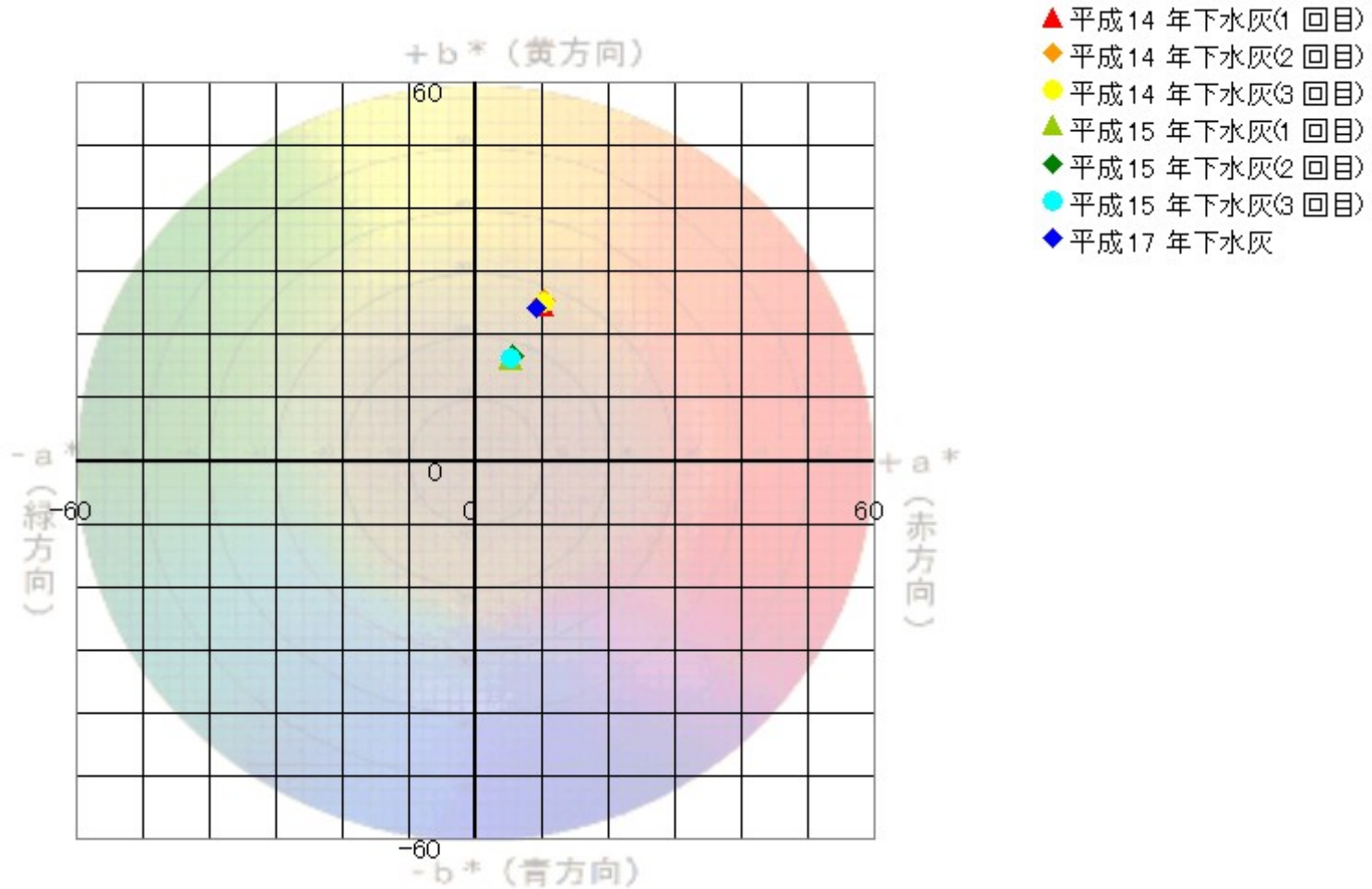
① どうすれば悪い印象を払拭することができると思いますか？

- ア. 下水汚泥焼却灰が無害であることを説明した資料を添えてあればよい。
- イ. 無害なら下水汚泥焼却灰が成分に含まれていることを知らされないほうがよい。
- ウ. 施工実績があれば、無害であることが納得でき、印象も良くなる。
- エ. 下水汚泥焼却灰が成分に含まれているような製品は使用しないと思う。
- オ. その他( )

下水汚泥焼却灰が無害であることを説明した資料を添えてあればよい。	19
無害なら下水汚泥焼却灰が成分に含まれていることを知らされないほうがよい。	4
施工実績があれば、無害であることが納得でき、印象も良くなる。	5
下水汚泥焼却灰が成分に含まれているような製品は使用しないと思う。	1
その他	9
無効回答	3
合計	41

# 品質管理の検討(インテリア研究所)

L\*a\*b\*表色系色度図(色相と彩度)



# 調色システム(案) (インテリア研究所)

①、②に数値を入力することにより、  
③顔料配合量が自動的に計算される。(逆算可)  
(図もあれば、よりわかりやすい)

①灰の色

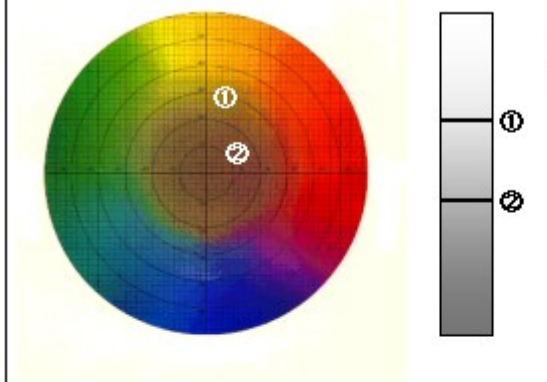
L\*:  a\*:  b\*:

②成形体の色

L\*:  a\*:  b\*:

標準色についてはリストから選ぶ形式

灰の色、および成形体の色見本を表示



フォームに入力した値が自動的にグラフ上にプロットされる

③顔料配合量

LB-100: %	GN: %	松煙: %	960: %	318: %
610: %	120MN: %	920: %	ライトイエロ-8: %	酸化チタン: %

配合にいくつかの候補がある場合  
顔料総割合の最も低いものを表示  
(一部の顔料の耐光性は?)

「顔料のバラつき」を数式化する。  
→同じ顔料1%配合でも、初期値が違えば変化量、方向は違う?  
(ライミックスと下水灰の違い)  
⇒それも考慮に入れたデータベース

【その他のデータ項目(固定値)】

- ・下水灰配合率
- ・成形圧
- ・

【あると便利な機能】

- ・測定値を保存し、データベース化
- ・顔料限界配合量を予め指定しておく、その範囲内で最も近い配合を返す

【調色システム概要】  
原料廃棄物の色度、目的とする製品の色度を測定-入力すると、適切な顔料添加量を返す顔料配合量計算フォーム。リサイクルにおいて常に問題とされる、採取ロットによる原料廃棄物の色の变化を、顔料添加段階で吸収することを目的とする。

色彩に関する専門知識を持たなくとも直感的に理解しやすい、現場レベルで使いやすいインターフェースを目標とする。

# “和の風土色”試験施工現場



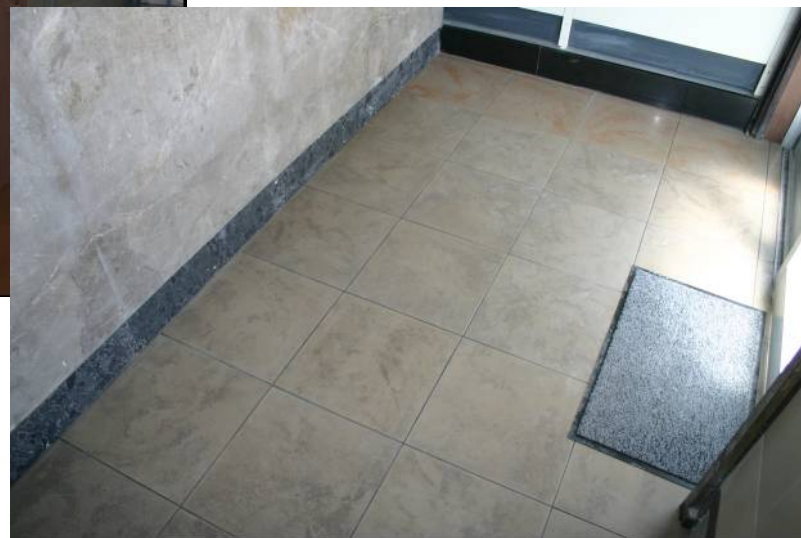
社会福祉施設たまご会(広島県)

## 和の風土色

屋内壁	屋内床	浴室床	屋外壁	屋外床
◎	×	×	×	×

## 墨流し模様

屋内壁	屋内床	浴室床	屋外壁	屋外床
◎	◎	×	×	×

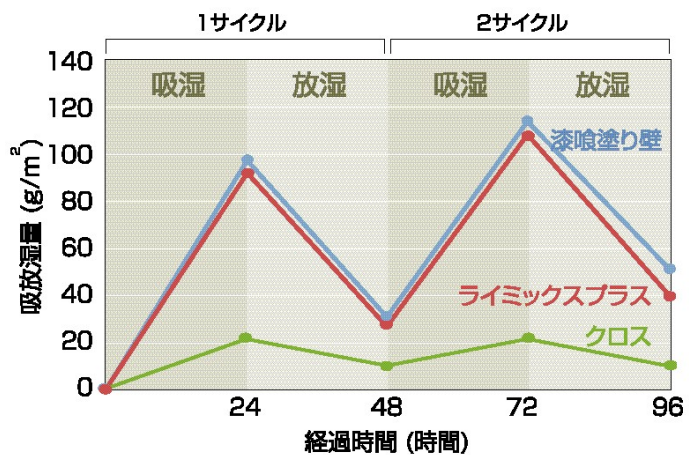


弊社社内施工

# 漆喰セラミックス新シリーズ「和の風土色」!!



## 漆喰の機能、安全性



### ■ 物性データ

	曲げ強さ (N/cm)	落砂摩耗 (g)	比重
ライミックスプラス	壁用 50 床用 170	0.02	1.73
ライムストーン	167	0.08	2.35
JIS A 5209 磁器タイル	内装壁 12以上 内装床 60以上 土足床 120以上	0.1g以下	—

### ■ 重金属溶出試験結果 (環境庁告示46号に従って実施)

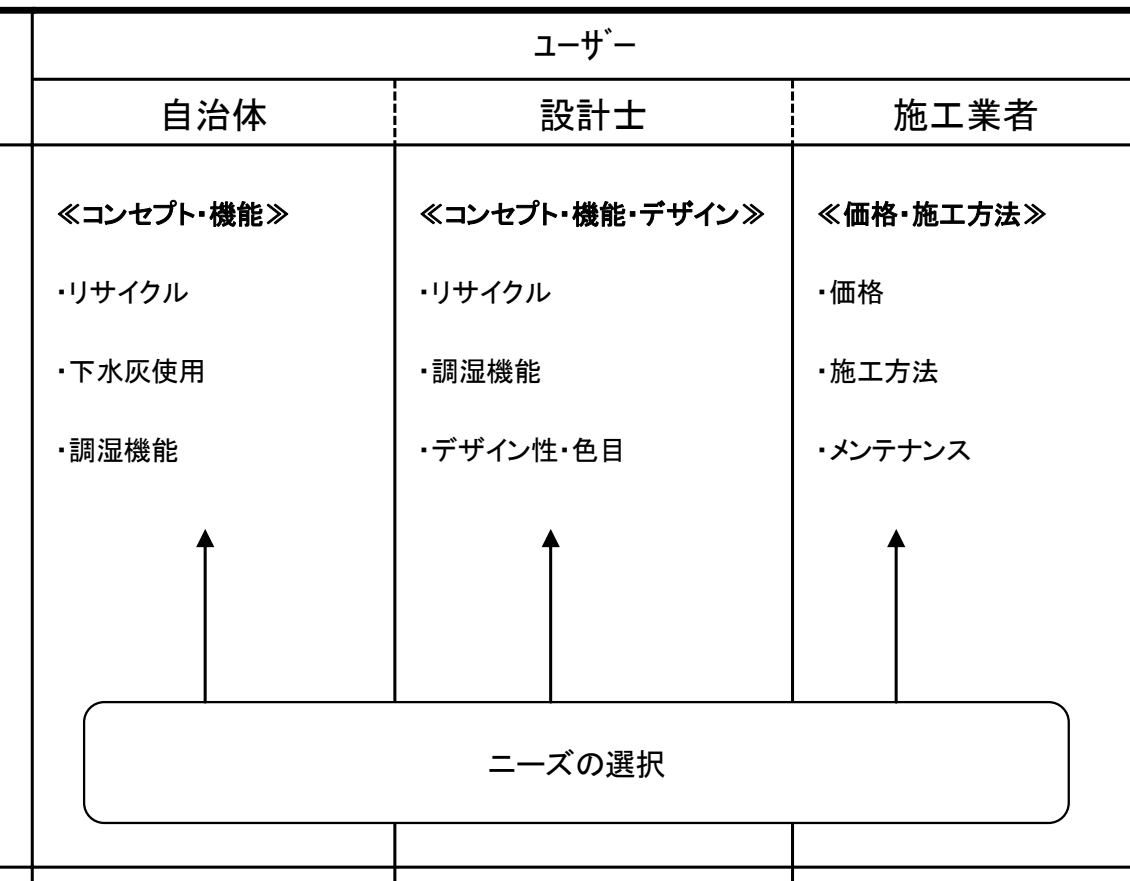
分析項目	鉛	総水銀	カドミウム
溶出試験結果	0.01mg/L未満	0.0005mg/L未満	0.01mg/L未満



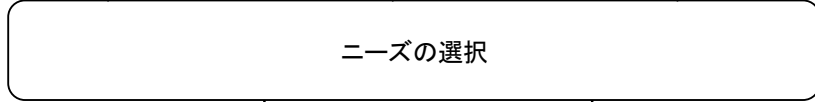
# PRターゲットとフレーズ

「Limixに新色“和の風土色”ができました。」

「下水灰を使用した全く新しいリサイクル化粧建材です。」



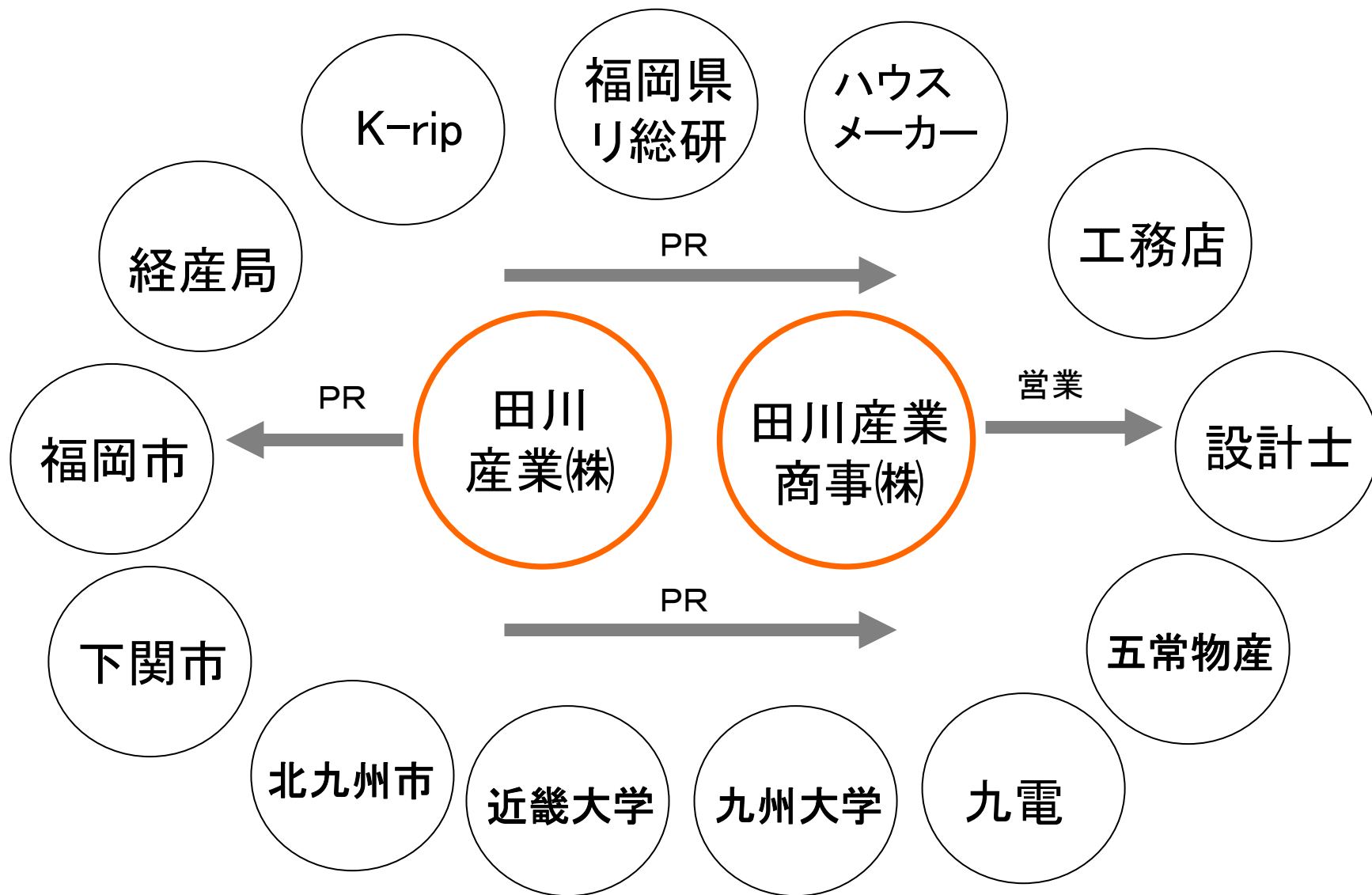
	自社 ライミックスプラスS	競合	ユーザー		
			自治体	設計士	施工業者
商品	<p>【強み】</p> <p>《コンセプト》</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・リサイクル建材</li> <li>・下水汚泥灰使用</li> <li>・環境問題を考えている</li> </ul> <p>《機能》</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・調湿機能</li> <li>・吸水率が高い</li> </ul> <p>《デザイン》</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・和の色目</li> <li>・漆喰の風合い、素材感</li> </ul> <p>【弱み】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・メンテナンスが大変</li> <li>・磨耗が心配</li> <li>・水周りに利用が出来ない</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・素材感</li> <li>・デザイン</li> <li>・色目の多さ</li> <li>・メンテナンスのし易さ</li> <li>・物性</li> <li>・シンプル</li> </ul>	<p>《コンセプト・機能》</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・リサイクル</li> <li>・下水灰使用</li> <li>・調湿機能</li> </ul>	<p>《コンセプト・機能・デザイン》</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・リサイクル</li> <li>・調湿機能</li> <li>・デザイン性・色目</li> </ul>	<p>《価格・施工方法》</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・価格</li> <li>・施工方法</li> <li>・メンテナンス</li> </ul>
価格	壁用 10,000円/㎡ 床用 12,400円/㎡	コストパフォーマンス	<ul style="list-style-type: none"> <li>・価格に対する妥当性 →他社との比較表</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・採用のし易さ → サービス価格の設定</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・他社との競争優位性 → サービス価格の設定 他社との比較表</li> </ul>
告知			<ul style="list-style-type: none"> <li>・商品紹介ツール (コンセプト強調)</li> <li>・実績紹介 (施工例、説明写真など)</li> <li>・メディアへのPR (実績紹介=信頼度獲得)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・商品紹介ツール (総合的なもの)</li> <li>・メディアへのPR (新商品紹介重視 雑誌、ネット、DMなど)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・商品紹介ツール (施工方法、メンテナンス)</li> </ul>
販路					



# 各種リサイクル支援制度

団体	部署	認定制度名	状況
福岡県	環境部	福岡県リサイクル製品認定制度	
福岡県	商工部	新商品生産による新事業分野開拓事業者認定制度	申請
福岡市	環境局	グリーン購入ガイドライン	申請予定
北九州市	技術監査室	建設リサイクル資材認定	申請予定
(財)日本環境協会		エコマーク	申請
経済産業省	九州経済産業局	K-rip(九州地域環境・リサイクル産業交流プラザ)認定制度	
国土交通省		NETIS(公共工事等における技術活用システム)	
環境省		グリーン購入法	
山口県		山口県認定リサイクル製品	
佐賀県		トライアル発注制度	

# ライミックスプラス”和の風土色”事業化体制



# ライミックスプラス”和の風土色”まとめ

- 捨て場所のない下水灰を有効利用  
下水汚泥は再び土に還ります。
- 和の風土色で落ち着いた空間を
- 漆喰の機能でさわやかな室内空間を

